



CHARACTERIZATION OF WASTE OILS IN AIR-BREATHING JET TURBINE ENGINES

Volkan PELİTLİ^{*1}, Özgür DOĞAN¹, H. Jülide KÖROĞLU²

¹TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Gebze-KOCAELİ

²TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Kimya Enstitüsü, Gebze-KOCAELİ

Received/Geliş: 04.09.2013 Revised/Düzeltilme: 24.10.2013 Accepted/Kabul: 12.12.2013

ABSTRACT

In response to Waste Management strategies and environmental regulations throughout the country, the waste oils from turbojet and turbofan turbines were characterized according to the “*Regulation on Control of Waste Oils (OG dated 30.07.2008 and numbered 26952)*” which was published by the Ministry of Environment and Urbanization of Turkey for the integrated interim storage, recycling, and/or disposal of these products. Representative waste oil samples were taken from a total of 19 supersonic military aircraft operated in different conditions and investigated for the following criteria: arsenic, cadmium, chromium, lead, polychlorinated biphenyls, chlorine, total halogens and flash point. The results obtained from analyses indicated that the heavy metals were below the maximum permissible limits for material recycling but in 5 samples of total samples chlorine and total halogens were above limit of 200 ppm. Because of the aforementioned properties, all of these materials can be used either as the raw materials in base oil production industry or as combustible in cement kilns and power station as substitute for regular fuel oils.

Keywords: Waste oils, characterization, jet turbine engines, aviation lubricants.

HAVA SOLUYAN JET TÜRBİN MOTORLARINDA ATIK YAĞ KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Atık yönetimi stratejileri ve ülkemizdeki çevresel yönetmelikler uyarınca Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından atık yağların ara depolanması, geri kazanımı ve/veya bertarafı için yayınlanan “*Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği (30.07.2008/26952 RG)*” kapsamında turbojet ve turbofan türbinlerden kaynaklanan atık yağların karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Temsil edici atık yağ numuneleri farklı şartlarda çalışan toplam 19 adet ses üstü savaş uçağından alınmış ve arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, poliklorlubifeniller, klorür, toplam halojenler ve parlama noktası açısından incelenmiştir. Analiz sonuçları numunelerin ağır metal içeriklerinin materyal geri kazanımı için müsaade edilen maksimum limitlerden düşük olduğunu ancak 5 adet numunedeki klorür ve toplam halojenler açısından sınır değeri olan 200 ppm’i aştığını göstermiştir. Buna göre atık yağlar hem baz yağ üretim endüstrisinde hammadde hem de çimento fırınları ile güç istasyonlarında fuel oil yerine yakıt olarak kullanılabilir karaktere sahiptir.

Anahtar Sözcükler: Atık yağlar, karakterizasyon, jet türbin motorları, havacılık yağları.

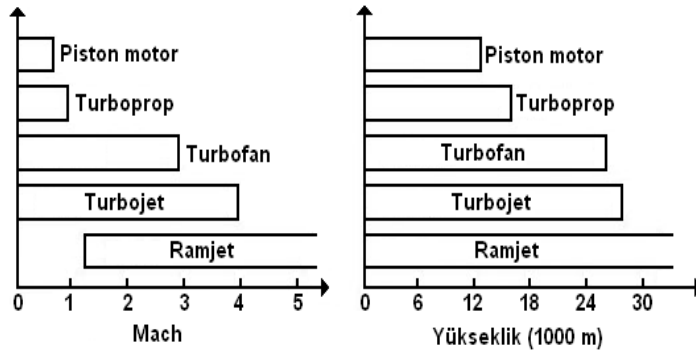
*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: volkan.pelitli@tubitak.gov.tr, tel: (262) 677 29 98

1. GİRİŞ

Sivil ve askeri havacılık alanlarında pek çok gelişme ve teknolojik ilerlemenin yaşandığı günümüzde, havacılık endüstrisi petrol bazlı türbin yağlarının en önemli tüketicisidir. Özellikle yüksek kaliteye sahip havacılık türbin yağları, yüzlerce hareketli parçaya sahip türbin mekanik sistemlerinin yağlama ve soğutma görevlerini üstlenen uçak itki sistemlerindeki geniş bir yağlama yağı sınıfını kapsamaktadır [1]. Bu yağlar genelde uçaklardan drene edildiklerinde spesifik gravite, viskozite, asit sayısı ve su içeriği gibi parametreleri sağladıkları sürece tekrar kullanılabilir özelliklere sahip olan petrol bazlı yağları içermektedir [2]. Ancak yapılan araştırmalar uçaklardan kaynaklanan bu yağların atık haline geldikten sonra sadece kullanımdan kaynaklanan kirleticiler ile değil aynı zamanda bozulmuş birçok katkı maddesi ile de kontamine olduğunu göstermiştir [3]. Ayrıca uçaklardan kaynaklanan atık türbin yağları hatalı şekilde yakıtlar, silikon yağları ve hidrolik sıvılarıyla da kirletilmektedir [4]. Bu durum atık türbin yağlarının yönetim adımları olan; materyal ve/veya enerji geri kazanımı ile bertaraf seçeneklerini etkileyerek, çevre kirliliğinin verimli ve ekonomik şekilde önlenmesini engellemektedir. Bu nedenle atık türbin yağlarının mevzuata uygun yönetiminde çevresel karakterlerinin ayrıntılı olarak bilinmesi kaçak akaryakıt üretimi ve illegal ısınma amaçlı kullanımlarının engellenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Konu ile ilgili hem ülkemiz ve hem de diğer ülkelerde yapılan çalışmalar son derece kısıtlı olup araştırmalar sadece ferrografik ve spektrometrik aşınma elementleri analizleri ile türbinlerde meydana gelebilecek motor hasarlarının önlenmesi için aşınma durumlarının izlenmesi ile sınırlı kalmıştır [5]. Motorların yapısında bulunan demir, bakır, alüminyum ve molibden miktarlarının analizi değişik parçaları farklı metallerden veya alaşımlardan meydana gelen türbinlerin onarım ve revizyon maliyetlerini azaltmada faydalı olsa da, atık yağların bertarafı ile ilgili olarak bilgi vermemektedir. Atık yağlarının çevresel açıdan değerlendirme yöntemlerinin belirlenebilmesi için ise arsenik, kadmiyum, krom ve kurşun gibi aşınma metalleri dışında poliklorlubifeniller, klorür ve toplam halojen miktarları ile parlama noktalarının bilinmesi gerekir. Ancak bu analizler atık türbin yağı üreticisine her numune için yaklaşık 1000-1500 TL gibi bir maliyeti getirdiğinden, atık yağların yönetiminde hem zaman hem de mali masrafların minimize edilebilmesi için atık yağlardaki kirleticilerin karakterize edilerek bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. Bu amaçla bu çalışmada; Türk Hava Kuvvetlerinde aktif hizmette kullanılan F-4 Phantom ve F-16 Fighting Falcon savaş uçaklarını temsil edecek şekilde, 2004 yılında yayınlanan ve 75/439 EC sayılı Atık Yağ Direktifine tam uyum sağlanması amacı ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından revize edilen 30.07.2008 tarih ve 26952 sayılı "Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği" kapsamında turbojet ve turbofan türbinlerden kaynaklanan atık yağların karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

2. TURBOJET VE TURBOFAN UÇAK TÜRBİNLERİ

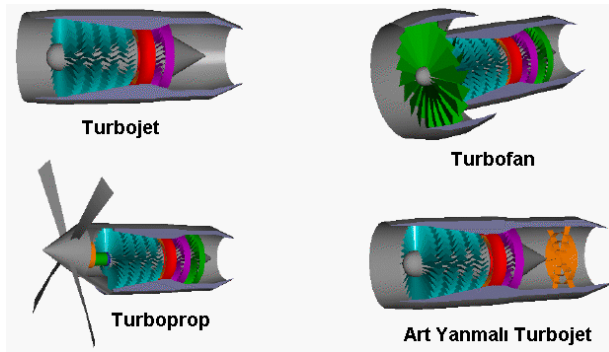
Yerçekimi kuvvetinin mekanik enerji ile yenme prensibinin uygulandığı havacılık sektöründe 3 eksenli hareket gücü; havanın önce türbinlerde sıkıştırılıp, sonra ısıtılarak geliştirilmesi ile, bir pervanenin geriye doğru hızlandırılması veya modern, yüksek by-pass oranına sahip motorlarda kısmen türbinlerde geliştirildikten sonra kısmen de pervane ile hızlandırılması şeklinde elde edilmektedir [6]. Ana güç kaynağı olarak hareketi sağlayan bu türbinler hava soluyan türbinler olarak adlandırılmaktadır. Hava soluyan türbin sınıfı: turbojet, turbofan, ramjet, turboprop ve turboşaft motorlardan oluşmaktadır [7]. Türbin motorlarının kullanılacağı hız aralık (Mach) ve hizmet yükseklikleri Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Hava soluyan motorların operasyon limitleri [8].

Turbojet motorlar verimi maksimize etmek ve kompakt dizaynı sağlamak için birçok alt sistemden oluşmaktadır. Turbofan motorlar ise genel olarak hem turbojet hem de turboprop motorların özelliklerine sahip olacak şekilde üretilmişlerdir. Turbojet motorlarda itki kuvvetlerinin %100'ü egzoz gazlarından oluşurken, bu oran turbofan motorlarda sadece %25'dir.

Çalışmanın örneklemini oluşturan F-4 Phantom'lar da General Electric tarafından geliştirilen 2 adet J79 turbojet motoru kullanılırken, F-16 Fighting Falcon'larda da 1 adet F110-GE-100 tip turbofan motor kullanılmaktadır [9, 10]. Her iki motorda birbirinden farklı olmasına rağmen Şekil 2.2'de verildiği üzere yanma bölümleri (kırmızı), kompresör (yeşil), türbin (mor), hava alığı ve nozül (gri) gibi kısımları benzerdir [11]. Bu motorların en temel özelliği yakıt verimini maksimize etmek amacı ile yüksek basınç oranları ve türbin sıcaklıklarında çalışmalarıdır. Turbofan ve turbojet türbinlerin özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Hava soluyan türbinler [11].

Çizelge 2.1. Turbofan ve turbojet türbinlerin özellikleri [12].

Turbofan	Turbojet
Dahili pervane	Yüksek hız
Ses üstü hızlar	Ses üstü hızlar
Yüksek by-pass oranı	Düşük hava debisi
Orta/yüksek verim	Düşük verim
Dişli kutusu yok	Yüksek çalışma sıcaklığı

J79 motorları günümüze kadar dünya çapında 5.195 adet üretilen F-4 Phantom savaş uçakları dışında B-58, F-104, Kfir, A33 Vigilante ve F-16/79 uçaklarında da kullanılmıştır [13]. F110-GE-100/129 ise GE J79'dan farklı olarak 4.500 adet F-16 Fighting Falcon savaş uçağı dışında, F-15 Strike Eagle ve F-2'lerde de kullanılmıştır [14, 15].

3. TÜRBİN YAĞLARI

Türbin yağlarının özellikleri Mil-L, DEeng, AIR ve NATO kodlarıyla belirtilmektedir. Bu sınıflamada temel olarak "Mil Spec" özelliklerini sağlayan Mil-PRF-7808 (NATO kod 0-148) ve Mil-PRF-23699 (NATO kod 0-156) yaygın olarak kullanılmaktadır. Mil-PRF-7808: Türbin motorlarında kullanılan iki dereceli sentetik bazlı yağlama yağlarıdır [16]. Bu yağlar uçaklar dışında, helikopter transmisyonları ve diğer yardımcı ekipmanlarda da kullanılabilir [17]. Nominal viskozitesi 100°C'de 5 cSt olan ve tipik olarak neopentil polyol ester baz stoktan üretilen Mil-PRF-23699 A, B, C, D ve F yağları ise - 40°C ve daha düşük ortam sıcaklıklarında kullanılmaktadır [18]. Ancak bu yağlar türbinlerde gerçekleşen termal ve oksidatif parçalanma mekanizmalarına karşı yeterli koruma sağlarken, statik korozyonlara karşı oldukça kararsızdır [19].

Jet türbinlerinde kullanılan yağlama sistemleri kısmen basit olmakla birlikte fonksiyonları son derece önemlidir. Yağlama yağları türbin için gerekli olan yağlama, soğutma ve temizleme görevlerini yerine getirirken operasyon koşulları, hatalı bakım uygulamaları ve parça kusurlarına bağlı olarak da kirlenmektedir. Arsenik, kadmiyum, krom ve kurşun gibi metalik partiküller operasyonel kirlenmeleri oluştururken, yanlış yağ kullanımları ve parça seçimleri de bakım kaynaklı kirlenmeleri oluşturmaktadır [20]. Aşınma metallerinin temel sebebi ester bazlı türbin yağlarının sahip olduğu higroskopik özellikler nedeni ile havadaki nemi absorblaması ve asit oluşumu yolu ile kimyasal oksidasyona sebep olmasıdır [21]. Bu metaller baz yağ ve katkı paketlerinin oksidasyon prosesini katalize ederek serbest radikal ve hidroperoksit oluşumu ile yağların performansını daha hızlı azaltır ve servis ömrünü doldurarak daha sık atık yağ oluşmasına sebep olur. Kerosen tip türbin yakıtları, parafinler, nafta ve trikloroetilen gibi klorlu yağ temizleme ajanlarının türbin yağlarına karışması halinde ise atık yağların hidrokarbon yapısı daha kompleks hale gelerek geri kazanım ya da bertaraf proseslerinin maliyetini daha da arttırır [22]. Türbin yağları ile temas eden mekanik parçaların metalik kompozisyonları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Türbin yağları ile temas eden uçak mekanik parçalarının metalik kompozisyonları [23].

Parça	Ag	Al	Fe	Cr	Cu	Mg	Pb	Ni	Si	
Dişli kutusu rulmanları	X		M	X	M				X	M Temel elementler
Dişli kutusu		M				M				
Dişli ve şaftlar			M	X				X		
Yağ pompası dişli ve rulmanları		X	M		M				X	X Yardımcı elementler
Arka dişli rulmanları	X		M	X	M				X	
Arka dişli bloğu							M			
Arka dişliler ve rulmanlar			M	X				X		

"Mil Spec" türbin yağlarındaki en büyük dezavantaj uzun dönemli depolama (36 ay) kararlılıklarının oldukça düşük olmasıdır. Bu durum renk değişimi, çökelti-pas oluşumu ve kurşun

korozivitesi ile kendini gösterir ve yeni yağların kullanılmadan atık yağa dönüşmesine sebep olur [24]. Genel olarak ekipman üreticileri tarafından kullanımdaki “Mil Spec” yağların türbine zarar vermemesi için 600 saatte bir yenisi ile değiştirilmesi tavsiye edilmektedir [25].

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Örnekleme

Araştırmanın örneklemini Eskişehir, Bandırma ve Balıkesir Üs Komutanlıklarından alınan 11 adet F-4 Phantom ve 8 adet F-16 Fighting Falcon atık türbin yağı numunesi (1 litre örnek hacmi) oluşturmuştur. Örnekleme, numunelerin homojen dağılımı göz önünde bulundurularak “Basit tesadüfi örnekleme” yöntemi ile alınmış ancak örnek sayısı zaman faktörü dikkate alınarak sınırlandırılmıştır. Örnekler 50 ile 100 saat arasında uçuş gerçekleştiren ve bakımı yapılan uçak türbinlerinden doğrudan alınmıştır. Örnekleme sırasında türbinlerden boşalan atık yağların ilk 0.5 litrelik kısmı başka kaplara alınarak numunelere karışması önlenmiştir. Örnekleme sırasında TSE 13316’ya uygun numune kapları kullanılmış ve örnekler analizlere kadar cam, vida kapaklı ve PTFE septumlu şişelerde +4°C’de saklanmıştır.



Şekil 4.1. (a) F-4 Phantom ve (b) F-16 Fighting Falcon [26, 27, 28].

4.2. Analiz Parametreleri ve Ölçüm Yöntemleri

Analizler yönetmelikte belirtilen parametreler ile sınırlı tutulmuş olup, türbin parçalarının aşınma durumlarını gösteren demir, bakır, alüminyum ve molibden gibi aşınma metalleri ile yüksek sıcaklığa maruz kalan türbin yağlarının termal ve oksidatif degradasyonunu ortaya koyan viskozite ve asit sayısı değişimlerine yer verilmemiştir. Tüm analizler iki paralel numune ile yürütülmüş ve 30 gün içerisinde tamamlanmıştır. Yönetmeliğe göre kategori analizleri ve sınır değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Yönetmeliğe göre atık yağların değerlendirilmesinde kullanılabilecek işlemler atık yağ kategorilerine göre aşağıda sıralanmıştır;

- **I. Kategori Atık Yağlar:** Materyal geri kazanımı için lisanslı tesislerde hammadde olarak kullanıma uygun atık yağlardır.
- **II. Kategori Atık Yağlar:** Çevre lisansı almış tesislerde enerji geri kazanımı amacı ile yakıt olarak kullanılabilecek atık yağlardır.
- **III. Kategori Atık Yağlar:** Geri kazanımı insan ve çevre sağlığı açısından risk yaratan ve çevre lisanslı tehlikeli atık yakma tesislerinde yakılarak zararsız hale getirilmesi gereken atık yağlardır.

Çizelge 4.1. Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre kategori analizleri ve sınır değerler [29].

Kirleticiler	I. Kategori Atık Yağlar	II. Kategori Atık Yağlar	III. Kategori Atık Yağlar
Arsenik	< 5 ppm	Max. 5 ppm	> 5 ppm
Kadmiyum	< 2 ppm	Max. 2 ppm	> 2 ppm
Krom	< 10 ppm	Max. 10 ppm	> 10 ppm
Klorür	Max. 200 ppm	Max. 2000 ppm	> 2000 ppm
Kurşun	< 100 ppm	Max. 100 ppm	> 100 ppm
Toplam halojenler	Max. 200 ppm	Max. 2000	> 2000 ppm
Poliklorlubifeniller	Max. 10 ppm	Max. 50 ppm	> 50 ppm
Parlama noktası	Min. 38 °C	Min. 38 °C	-

4.2.1. Ağır Metaller

Türbinlerdeki yıpranmış metaller, kirleticiler ve katkı paketlerinden gelen arsenik, kadmiyum, krom ve kurşun elementleri ASTM D 6595 metoduna göre Optical Spectrometer (Spectroil M/F-W) cihazı ile analiz edilmiştir. Test metodu numune hazırlama ya da herhangi bir seyreltme işlemi gerektirmediğinden, tüm elementler aynı anda numune kaybı olmaksızın Rotasyonel Disk Elektrot (RDE) tekniği kullanılarak tespit edilmiştir [30]. Cihaz kalibrasyonunda Spectro Inc Industrial Tribology Systems (ABD) ve Conostan Oil Analysis Standards'dan (Kanada) temin edilen 5, 10, 30, 50, 100, 200, 500 ve 900 µg/g'lık arsenik, kadmiyum, krom ve kurşun içeren standartlar kullanılmıştır.

4.2.2. Halojenler

Klorür, florür ve bromür analizleri Standart Metot 4110 B'e göre oksijen bombasında yakma işleminden sonra Dionex DS6 iletkenlik dedektörü, Dionex izokritik pompa ve Dionex AS9-HC (4 mm) kolonuna sahip iyon kromatograf cihazı (Dionex ICS 1000) ile gerçekleştirilmiştir. Metot dedeksiyon limitleri klorür, florür ve bromür için sırası ile 0.2, 0.02 ve 0.1 ppm'dir [31]. Standart olarak oksijen bombasında Conostan Oil Analysis Standards'dan (Kanada) temin edilen klor, iyon kromatograf cihazında ise Ultra Scientific Analytical Solutions'dan (ABD) temin edilen klorür, florür ve bromür kullanılmıştır.

4.2.3. Poliklorlubifeniller

Analiz EN 12766 metoduna göre özütleme, arındırma ve konsantrasyon adımlarından sonra elektronegatif atomlar içeren bileşiklere karşı oldukça hassas olan elektron yakalayıcı dedektör ile gerçekleştirilmiştir. Atık yağ numuneleri hekzan solüsyonu kullanılarak katı faz özütleme işlemi (SPE) ile temizlenmiş ve Dr. Ehrenstorfer firmasından temin edilen PCB 209 (PCB Mix 26) internal standardı eklendikten sonra elektron yakalama dedektörlü gaz kromatograf cihazı (Agilent 6890) ile analiz edilmiştir [32, 33]. Örneklerde PCB bileşiklerinin belirlenmesi için Dr. Ehrenstorfer firmasından temin edilen 10 ng/µL konsantrasyonda izo-oktan içerisinde çözülmüş PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153 ve PCB 180 içeren standartlar kullanılmıştır.

Kullanılan hekzan ve tetra-decan Merck firmasından temin edilmiştir. Agilent 6890 gaz kromatografi cihazında kapiler kolon olarak Polikarboran-siloksan dolgulu SGE HT8 (30mx0.22mmx0.25µm) kullanılmıştır. Enjektör sıcaklığı 240°C ve dedektör sıcaklığı ise 260°C'ye ayarlanmıştır. Split/splitless enjektör ile splitless modda çalışılmış ve taşıyıcı gaz olarak helyum kullanılmıştır.

4.2.4. Parlama Noktası

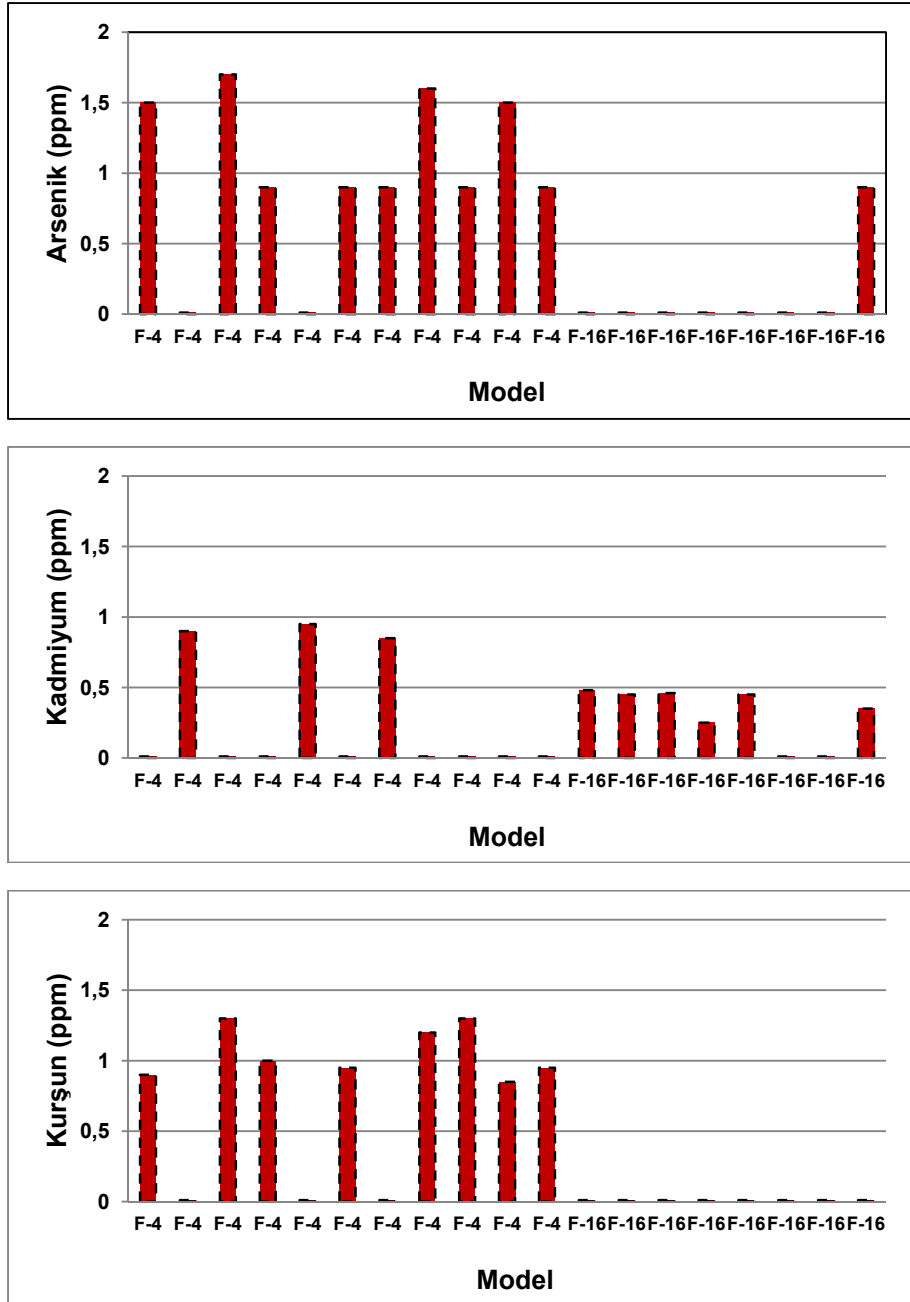
Tanımlanmış bir test aparatında, yanıcı bir ürünün hava ile karıştığı anda parlayabilen bir karışım meydana getirdiği en düşük sıcaklık noktası olarak tanımlanan parlama noktası analizleri kapalı kap yöntemi olan ASTM D 6450'a göre Miniflash FLP (Grabner Instruments) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler homojenizasyon işleminden sonra cihaza beslenmiştir [34].

5. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Ağır Metaller

Petrol bazlı türbin yağları jet türbin motorlarının imalinde kullanılan sızdırmazlık elemanları Virton A ve Buna N'da dahil olmak üzere tüm metal aksamla uyumlu olacak şekilde üretilmektedir [35]. Ancak yağlamanın yeterli olduğu durumlarda bile çelik malzemeden imal şaft, rulman, dişli ve burç gibi makine parçaları birbirleri ile temas ederek yağların aşınma metalleri tarafından kirlenmesine sebep olmaktadır. Bunun sebepleri; eksfoliasyon ve penetrasyon prosesleri ile rulman çatlakları ve kızaklanma hareketleridir. Türbin motorlarında meydana gelen gaz yolu arızaları neticesinde orantısız kuvvetlere maruz kalan türbin motorlarından kopan metal tozları da yağ sistemine karışmaktadır. Türbin yağlarındaki metal kirliliğinin diğer bir sebebi ise yakıt besleme ve motorlara aktarım organlarıdır. Uçaklarda genel olarak metal içermeyen C₆-C₁₇₊ hidrokarbon kompozisyonuna sahip MIL-DTL-5624 ve MIL-DFL-83133 tip kerosen bazlı jet yakıtları tercih edilmektedir. Bu yakıtlar N,N'- Disalisiliden-1,2-propandiamin ve N,N'- Disalisiliden-1,2-sikloheksandiamin gibi metal deaktivatörler içerse de, yakıt sistemleri yağların metalik içeriğinin artmasına neden olan çelik ve metalik ekipmanlara sahiptir. Bu ekipmanlar aynı zamanda uçaklarda ciddi türbin korozyonlarına da sebep olmaktadır [36]. Ancak kirliliğinin temel kaynağının kesin olarak tespiti yağlama sisteminin kompleksliği nedeniyle neredeyse imkansızdır.

Atık türbin yağlarında yapılan analizler yağlardaki arsenik, kadmiyum ve kurşun miktarlarının oldukça düşük olduğunu göstermiştir. Yağlardaki arsenik, kadmiyum ve kurşun konsantrasyonları sırası ile 0.1-1.7 ppm, 0.1-1.0 ppm ve 0.1-1.3 ppm aralığında değişmektedir. Üç parametre açısından da, Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliğine göre I. Kategori Atık Yağlar için müsaade edilen sınır değerler aşılmamıştır. Krom kirliliğine ise hiç rastlanmamıştır. Atık türbin yağlarının sahip olduğu arsenik, kadmiyum ve kurşun konsantrasyonları Şekil 5.1'de verilmiştir.

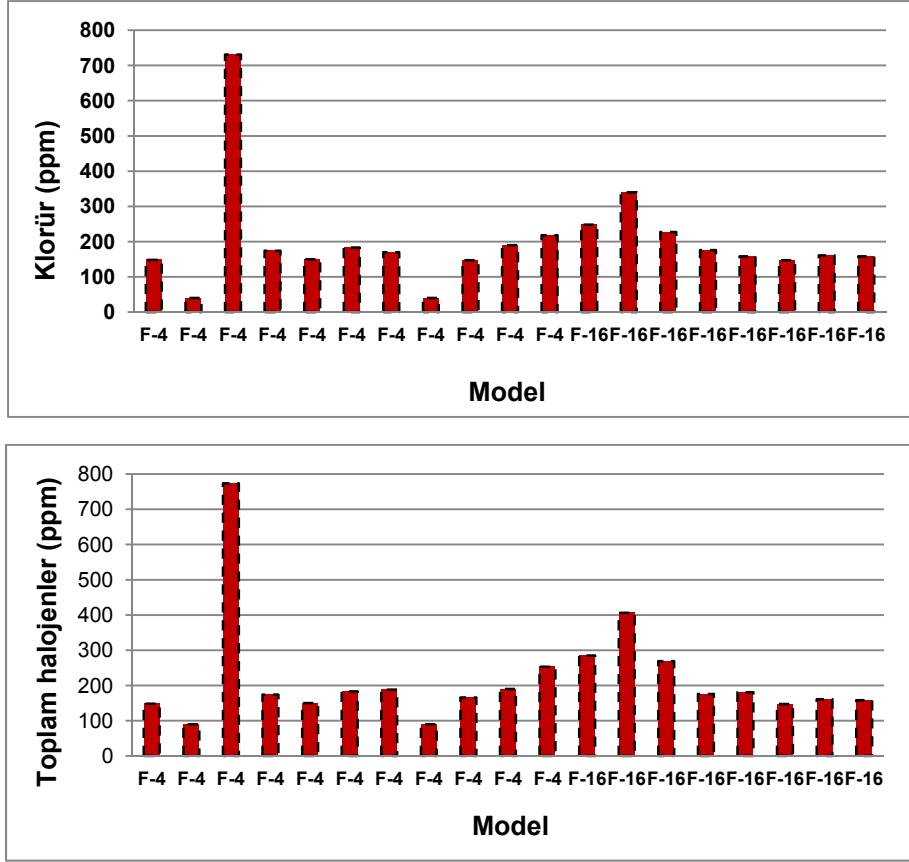


Şekil 5.1. Atık türbin yağlarının sahip olduğu As, Cd ve Pb miktarları.

5.2. Klorür ve Toplam Halojenler

Atık türbin yağlarındaki klorür ve toplam halojen içeriğinin temel sebepleri; havacılık sektörü tarafından belirlenmiş standartlara uygun olarak geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan yağ ve yakıt katkı paketleridir. Klor, fosfor ve kükürt içerikli aşırı basınç (EP) ya da yük taşıyıcı katkı paketleri atık yağlardaki halojen kirliliğinin en önemli kaynağıdır. Bu bileşikler türbin motorlarındaki metal parçalarla reaksiyona girerek yüzeyde koruyucu bir film tabakası oluştururlar ve metal aksamların aşırı yüklenmesi halinde avantaj sağlarlar. Bu katkı maddeleri son derece dirençli olup, motor içerisinde bozunmazlar ve atık yağlarda birikerek klorür miktarını arttırlar. Yağ katkı paketleri dışında, klor ve brom içerikli vuruntu önleyici katkı paketleri de uzun yıllardır uçak yakıtlarında kullanılmaktadır. Bu yakıtlar litrede yaklaşık olarak 1.2 ml tetraetil (TEL) ve tetrametil (TML) içerebilmektedir [37]. Ayrıca bromun florlu bileşikleri de jet yakıtlarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [38]. Hem yakıt kaçakları hem de yanma sonucunda oluşan partiküllerin atık yağ içerisinde çökmesi ise atık yağlarda ki halojen kirliliğini daha artırmaktadır.

Atık türbin yağlarında yapılan analizler bazı yağlardaki klorür ve toplam halojen miktarlarının yüksek olduğunu göstermiştir. Yağlardaki klorür ve toplam halojen konsantrasyonları sırası ile 45-731 ppm ve 90-774 ppm aralığında değişmektedir. İki parametre açısından 5 adet atık yağ numunesi, Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliğine göre II. Kategori Atık Yağlar için müsaade edilen sınır değerler içerisinde. Atık türbin yağlarının sahip olduğu klorür ve toplam halojen konsantrasyonları Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Atık türbin yağlarının sahip olduğu klorür ve toplam halojen miktarları.

5.3. Poliklorlubifeniller

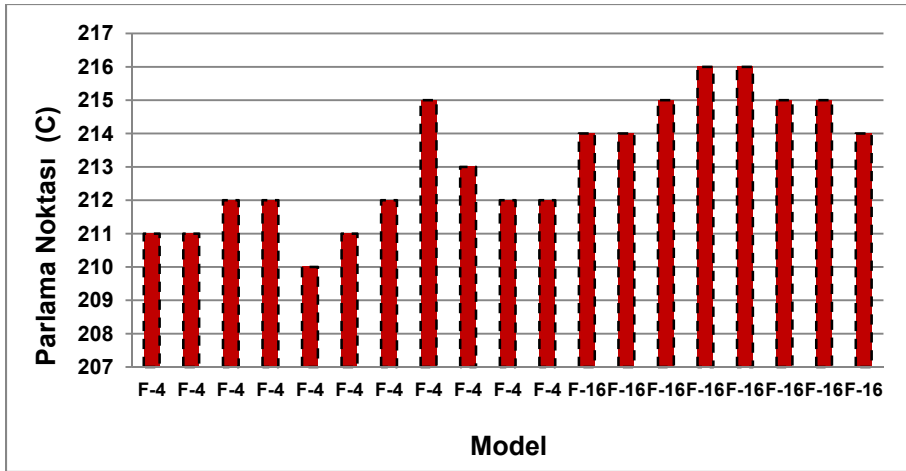
1930'lardan itibaren ticari olarak yağ veya eşdeğer formda ticari olarak üretilen poliklorlubifeniller sahip oldukları toksisite ve biyo-birikim özellikleri ile 1970'lerin başlarında ABD'de ve 2001'de de Kalıcı Organik Kirleticilere İlişkin Stokholm Sözleşmesi uyarınca uluslararası alanda yasaklanmıştır. Ancak Avrupa'da 1980'lerin sonuna kadar kapalı uygulamalarda kullanımlarına izin verilen poliklorlubifeniller sahip oldukları dayanıklı yapı nedeni ile sebep olabilecekleri potansiyel kontaminasyonların önüne geçilmesi için tehlikeli karakter taşıyabilecek atıkların hem karakterizasyonu hem de geri kazanım seçeneklerinin değerlendirilmesinde bilinmelidir.

Atık türbin yağlarında yapılan poliklorlubifenil analizlerinde konsantrasyonlar cihaz ölçüm sınırı olan 0.01 ppm'in altında kalmıştır. Bu parametre açısından atık türbin yağları, Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliğine göre I. Kategori Atık Yağlar için müsaade edilen sınır değerler içerisinde yer almaktadır.

5.4. Parlama Noktası

Parlama noktası, yanıcı sıvıların sınıflandırılmasında kullanılan fiziksel bir parametredir. Parlama noktası düşük olan maddelerin uçuculuğu, dolayısı ile potansiyel tehlikeleri daha yüksek olmaktadır. Genel olarak, MIL-PRF-7808 tip motor yağlarının parlama noktası $>210^{\circ}\text{C}$ ve MIL-PRF-23699 tip motor yağlarının da parlama noktası $>240^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ancak bazı durumlarda uçak yakıtları yağlara karışarak yağların viskozite ve parlama noktalarını ciddi oranda azaltır ve bunun sonucunda yangın ve tahrip gücü çok yüksek patlamalara neden olabilir. Bu sebeple atık yağların depolama ve transfer işlemleri için parlama noktalarından daha düşük ortam sıcaklıkları tercih edilmektedir.

Atık türbin yağlarında yapılan parlama noktası analizlerinde herhangi bir yakıt kontaminasyonuna rastlanmamıştır. Atık türbin yağlarının parlama noktaları 210 ile 216°C arasında değişmektedir. Atık türbin yağlarının sahip olduğu parlama noktaları Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Atık türbin yağlarının sahip olduğu parlama noktaları ($^{\circ}\text{C}$).

6. SONUÇLAR

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan “Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği” kapsamında 11 adet F-4 Phantom ve 8 adet F-16 Fighting Falcon savaş uçağından alınan atık türbin yağlarının karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Analizlerde iz miktarda arsenik, kadmiyum ve kurşun kirliliği tespit edilirken, ülkemizin de taraf olduğu Stockholm Sözleşmesi kapsamında 12 adet kalıcı organik kirleticiden biri olan poliklorlubifeniller ile kroma ise hiç rastlanmamıştır. Bununla birlikte, yağ katkı paketlerinden gelen klorür ve toplam halojen içerikleri bazı numunelerde sınır değerlerin aşılmasına sebep olarak, atık yağların hammadde geri kazanımı (rafinasyon ve rejenerasyon) dışında enerji amaçlı kullanıma da uygun olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda türbin motorlardan kaynaklanan atık yağların çevre ile uyumlu yönetiminde kimyasal kompozisyonları göz önüne alınarak imha edilmek yerine geri kazanılması, hem doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilirliğine; hem de enerji tasarrufu ve karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Acknowledgments / Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projeleri (1007) kapsamında desteklenen 107G007 no'lu "Atık Madeni Yağların Kontrol ve İzleme Sisteminin Oluşturulması Projesi" çıktılarından üretilmiştir. Projeye verdiği destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Springer Reference [Online], <http://www.springerreference.com/docs/html/chapterdbid/307227.html> [Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2013].
- [2] Bourgeois, M.(n.d.), "Used Oil Management: International Experiences and Approach For Colombia", International Fair and Seminar, Solid and Hazardous waste integral management XXI Century.
- [3] Basel Convention [Online], <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/meetings/sbc/workdoc/old%20docs/tech-y8.pdf> [Ziyaret Tarihi: 3 Mayıs 2013].
- [4] Kauffman, Robert, E., Sqrow, L., Swartzbaugh, Joseph, T. and Wolf, J., D., "Advanced Lubricant Segregation Capability for Prototype Oil Collection Facility", WL-TR-94-2082, Dayton, Ohio, USA Wright Laboratory, 1994.
- [5] Tanatmış, A. A., "Uçak Bakımında Ferrografik Aşınma Analiz Teknikleri", Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 23 (1-2), 161-170, 2007.
- [6] İstanbul Teknik Üniversitesi [Online], <http://web.itu.edu.tr/~yükselen/Uck351/11-%20Pervane%20teorisi.pdf> [Ziyaret Tarihi: 14 Mayıs 2013].
- [7] Private Pilot Ground School [Online], <http://www.free-online-private-pilot-ground-school.com/turbine-engines.html> [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2013].
- [8] Aircraft Engine Design [Online], <http://www.aircraftenginedesign.com/custom.html4.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2013].
- [9] İstanbul Teknik Üniversitesi [Online], <http://web.itu.edu.tr/~yuceil/teaching/uck421/uck421-week1.pdf> [Ziyaret Tarihi: 22 Mayıs 2013].
- [10] Lockheed Martin [Online], <http://www.lockheedmartin.com/us/products/fl6/F-16Specifications.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2013].
- [11] National Aeronautics And Space Administration [Online], <http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/trbtyp.html> [Ziyaret Tarihi: 23 Mayıs 2013].
- [12] İstanbul Teknik Üniversitesi [Online], <http://ninoa.itu.edu.tr/tr/dersler/ucak-uzay-fakultesi/779/uck-474/ek kaynaklar?g72116> [Ziyaret Tarihi: 24 Mayıs 2013].
- [13] Airforce-technology [Online], <http://www.airforce-technology.com/projects/f-4-phantom-fighter-bomber/> [Ziyaret Tarihi: 27 Mayıs 2013].
- [14] GE Aviation [Online], <http://www.geaviation.com/engines/military/fl10/fl10-129.html> [Ziyaret Tarihi: 27 Mayıs 2013].
- [15] Lockheed Martin [Online], <http://www.lockheedmartin.com/us/products/fl6.html> [Ziyaret Tarihi: 28 Mayıs 2013].
- [16] EverySpec [Online], http://www.everyspec.com/MIL-PRF/MIL-PRF-000100-09999/MIL-PRF-7808L_5699/ [Ziyaret Tarihi: 29 Mayıs 2013].
- [17] Turbine Powered [Online], http://www.turbinefun.com/Turbine_Engine_Oils.asp [Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2013].
- [18] EverySpec [Online], http://www.everyspec.com/MIL-PRF/MIL-PRF-010000-29999/MIL-PRF-23699F_6702/ [Ziyaret Tarihi: 29 Mayıs 2013].

- [19] Beane, G.A., Gschwender, L.J. and Shimski, J.T., “Military Aircraft Propulsion Lubricants- Current and Future Trends”, AGARD-CP-294, Conference proceedings No. 394, Aircraft Gear and Bearing Systems, 1986.
- [20] USA Naval Education and Training Professional Development And technology Center [Online], <http://www.navybmr.com/study%20material/navedtra%2014008.pdf> [Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2013].
- [21] Exxon Mobil Aviation Lubricants (2013) [Online], http://www.exxonmobil.com/lubes/exxonmobil/emal/files/TTTopic15_UsedOilEval.pdf [Ziyaret Tarihi: 4 Haziran 2013].
- [22] Bonanno, A. S., Bassilakis, R. and Serio, M., “TG-FTIR methods for the evaluation of lubricant contamination,” ACS Div. of Fuel Chem. Prepr. 41 (1), 62–70, 1996.
- [23] Ake, F. K. “J79-15/-17 Turbojet Engine Accident Investigation Procedures,” ASD-TR-75-19, 1975.
- [24] Buhl, P. H., Henderson, C. M., Murphy, C. M. and Ravner, H., “Reclaiming of Deteriorated Specification MIL-L-7808 Aircraft Gas Turbine Oils”, NRL Memorandum Report 674, U.S. Naval Research Laboratory, Washington, 1957.
- [25] Feinberg, F., “Evaluation of MIL-L-23699 Lubricating Oil Performance in the J79 Engine”, Naval Air Propulsion Test Center Trenton N J, 1974.
- [26] Türk Hava Kuvvetleri Komutanlığı [Online], [http://www.hvlojk.tsk.tr/iha/TURK%20KATALOG11%20\(IDEF\).pdf](http://www.hvlojk.tsk.tr/iha/TURK%20KATALOG11%20(IDEF).pdf) [Ziyaret Tarihi: 7 Haziran 2013].
- [27] Türk Hava Kuvvetleri Komutanlığı [Online], <http://www.hvkk.tsk.tr/TR/EnvanterdekiUcaklar.aspx?ID=7> [Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2013].
- [28] Türk Hava Kuvvetleri Komutanlığı [Online], <http://www.hvkk.tsk.tr/TR/Fotogaleri.aspx?ID=69> [Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2013].
- [29] Schwetje, A., Varrı, A., Hamarat, E. Ve Özdoğan, J., “Özel Atık ile İlgili AB Direktiflerinin Uyumlaştırılması ve Uygulamaları”, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [30] ASTM D 6595-00, Standard Test Method for Determination of Wear Metals and Contaminants in Used Lubricating Oils or Used Hydraulic Fluids by Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectrometry, American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, Pennsylvania, 2005.
- [31] Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, Method 4110 B, Ion Chromatography with Chemical Suppression of Eluent Conductivity. American Public Health Association, 21st Edition, 2005.
- [32] EN 12766-1, Petroleum products and used oils – Determination of PCBs and related products – Part 1: Separation and determination of selected PCB congeners by gas chromatography (GC) using an electron capture detector (ECD), 2000.
- [33] EN 12766-2, Petroleum products and used oils – Determination of PCBs and related products – Part 2: Calculation of polychlorinated biphenyl (PCB) content, 2001.
- [34] ASTM D 6450-05, Standard Test Method for Flash Point by Continuously Closed Cup (CCCFP) Tester. American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, Pennsylvania, 2010.
- [35] Exxon Mobil Aviation Lubricants [Online], http://www.exxonmobil.com/USA-English/Aviation/PDS/GLXXENAVIEMMobil_Jet_Oil_II.aspx [Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2013].
- [36] Ritchie, G.D., Still, K.R., Rossi, J. III, Bekkedal, M. Y.-V., Bobb A.J. and Arfsten, D.P., “Biological and health effects of exposure to kerosene-based jet fuels and performance additives”, J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev. 6(4), 357-451, 2003.

- [37] University of Washington [Online], <http://courses.washington.edu/> [Ziyaret Tarihi: 21 Haziran 2013].
- [38] Roza, G., "Understanding the Elements of the Periodic Table-Bromine", First Edition, The Rosen Publishing Group Inc., New York, 2009.

Electrical-Electronics Engineering Article
/
Elektrik-Elektronik Mühendisliđi Makalesi